

**CODES DE BONNES PRATIQUES POUR L'UTILISATION DE
TECHNIQUES ALTERNATIVES D'INVESTIGATION DU SOL**

Phytoscreening

Utilisation des arbres comme marqueurs de pollution du sous-sol

Description de la technique

Le système racinaire des arbres, arbustes et de certaines plantes, extrait l'eau du premier mètre du sol (rarement au-delà de 2 m de profondeur). A ce titre, il peut capter les polluants solubilisés dans l'eau du sol (métaux, TPH, HAP et COV) voire de la nappe si elle est peu profonde (<2m), soit ceux étant présents dans les sols en contact immédiat avec les racines (métaux, TPH et HAP) soit sous forme vapeurs (COV issus de la nappe ou des sols sous-jacents). Le flux de sève remonte dans le tronc et transporte les polluants. Le prélèvement d'échantillons du tronc pour l'analyse des polluants – phytoscreening – permet de cartographier la pollution du milieu souterrain par le biais des arbres. La technique décrite dans ce code se limite au prélèvement d'un échantillon d'écorce ou de tronc.



INFORMATIONS GENERALES

A. Composantes du sol investiguées

La technique est utilisable pour investiguer la présence de contaminants dans les composantes du sol suivante :

Composantes du sol		Remarques
Matrice du sol	X	Métaux, TPH, HAP, Composés organiques volatils (COV)
Eau souterraine	X	COV. Méthode applicable aux eaux souterraines pour les Métaux, TPH, HAP si le toit de la nappe est peu profond (<2m)
Phase gazeuse du sol	X	COV

B. Contaminants analysés

La technique permet l'investigation des contaminants suivants :

Contaminants analysés	Matrice du sol	Eau souterraine	Phase gazeuse du sol	Remarques
Aromatiques (BTEX)	X	X	X	
Solvants chlorés (VOCL, Cl-éthène, Cl-éthane, aromatiques chlorés)	X	X	X	
HAP	X	X (si nappe <2m)	-	La datation de la contamination peut être réalisée à l'aide de la dendrochimie
HMV (C5-C10)	X	X	X	
HM (C10-C40)	X	X (si nappe <2m)	-	La datation de la contamination peut être réalisée à l'aide de la dendrochimie
ML (+Cobalt)	X	X (si nappe <2m)	-	La datation de la contamination peut être réalisée à l'aide de la dendrochimie

Contaminants analysés	Matrice du sol	Eau souterraine	Phase gazeuse du sol	Remarques
Cyanures	-	-	-	
LNAPL	-	-	-	
DNAPL	-	-	-	
Autres	X (certains POP, PCB légers)	X (perchlorates, Lindane, si nappe <2m)	-	Articles scientifiques

C. Contexte environnemental d'application

La technique alternative d'investigation du sol est utilisable dans les conditions environnementales suivantes :

Type de sol	Remarques	
Remblais	X	
Sable	X	
Limon	X	
Gravier	X	
Tourbe	-	La présence de MO rend les polluants moins transférables vers les plantes
Argile	-	La présence d'argile rend les polluants moins transférables vers les plantes ou limite le dégazage des COV
Grès	X	
Autres (schiste, roches métamorphiques, craies)	-	
Caractéristiques hydrogéologiques		
Hétérogène et perméable	X	
Hétérogène et semi-perméable	X	Limite possible pour le dégazage de COV
Hétérogène et imperméable	-	
Profondeur		
Superficielle	-	L'échantillonnage se fait en surface (sur les arbres) mais peut rendre compte de pollutions profondes (dégazage de COV depuis les nappes par ex.)
1-5 m-ns	-	
5-10 m-ns	-	
10-15 m-ns	-	
>15 m-ns	-	
Revêtement de sol		
Pas de revêtement	X	Nécessite la présence d'arbres (essences adaptées aux polluants recherchés), peu importe la nature du revêtement
Maçonnerie (clinkers)	-	
Pavé	-	
Carrelage	-	
Asphalte	-	
Béton	-	
Autres	-	
Espace de travail minimum		
Dimension L x h x l		L'arbre doit être accessible pour une personne
Technique applicable pour des zones contaminées de :		
Petite surface (1-5 m ²)	-	
Moyenne surface (5 – 200 m ²)	X	
Grande surface (>200 m ²)	X	Voire même les très grandes surfaces > 1 000 m ²

D. Paramètres physico-chimiques analysés

La technique permet l'investigation des paramètres physico-chimiques suivants :

Paramètres physico-chimiques analysés	Matrice du sol	Eau souterraine	Phase gazeuse du sol	Remarques
pH	-	-	-	
EC	-	-	-	
Température	-	-	-	
Conductivité hydraulique	-	-	-	

E. Principes – Modalités

Le système racinaire des arbres, arbustes et de certaines plantes, extrait l'eau du premier mètre du sol (rarement au-delà de 2 m de profondeur). A ce titre, il peut capter les polluants solubilisés dans l'eau du sol voire de la nappe si elle est peu profonde (<2m), soit ceux étant présents dans les sols en contact immédiat avec les racines soit sous forme vapeurs, selon la nature des polluants :

- les COV présents sous différentes formes dans le milieu souterrain sont in fine transférés vers les arbres sous forme dissoute, soit parce qu'ils sont directement présents dans l'eau capillaire des sols (COV présents dans les sols superficiels) soit parce qu'ils sont re-solubilisés depuis les gaz du sol (diffusion verticale depuis des sols sous-jacents ou une nappe profonde) ;
- La fraction (bio ou phyto)-accessible des polluants non volatils (métaux, TPH, HAP) présents dans les sols de surface (sols en contact direct avec le système racinaire, <2m le plus souvent) est transférée vers les arbres suite à une solubilisation dans l'eau des sols ;
- Plus rarement, quelques racines profondes peuvent atteindre directement l'eau de nappe (si celle-ci n'est pas trop profonde, soit < 2m de prof.) pour prélever directement les polluants dissous (COV, métaux, TPH ...).

Le flux de sève remonte dans le tronc (cernes extérieures présentes juste derrière l'écorce) et transporte les polluants : les COV sont rejetés dans l'atmosphère par évapotranspiration alors que les autres polluants peuvent se fixer dans les tissus. Le prélèvement d'échantillons d'arbre pour l'analyse des polluants – phytoscreening – permet de cartographier la pollution du milieu souterrain par le biais des arbres. Généralement, les cernes extérieures sont prélevées, mais les autres tissus peuvent également être prélevés selon l'origine et la nature des polluants (origine souterraine / aérienne) : écorce et/ou feuilles pour le Mercure (Mallard et al., 2015), certains POP (Perverly et al., 2015) et la recherche de métaux ou HAP liées à des retombées atmosphériques sur certains sites de production.

Le type d'arbre est également un critère important à prendre en compte. Pour la détection de COV, les essences les plus documentées sont les Peupliers, les Chênes, les Saules et les Aulnes. Pour les autres essences, il est important de réaliser des échantillons comparatifs (eau de nappe, gaz des sols, voire sol) pour validation. Pour les métaux, l'essence d'arbres semble avoir moins d'influence.

Pour les COV il faut tenir compte des conditions météorologiques et des conditions de saturation en eau du sol pour déterminer la meilleure période pour prendre les échantillons. Il est préférable de faire les prélèvements durant la période où les arbres portent des feuilles et durant une période sèche. Toutefois, il est conseillé d'éviter les températures extérieures trop froides.

Les arbres contenant naturellement des Hydrocarbures (certains alcanes et HAP), il convient de choisir une méthode analytique permettant de dissocier les origines (méthode GCxGC MS) qui est très peu disponible à l'échelle commerciale.

F. Informations complémentaires

Des informations complémentaires sont fournies dans le tableau suivant :

Informations complémentaires	
Nature de la technique	Biomarqueur
Fréquence de prises de mesures	20 à 40 arbres / jour
Temps d'acquisition des résultats	Analyse # 10 jours après réception au laboratoire Possibilité de coupler les échantillonnages de bois avec des analyseurs de terrain (XRF pour les métaux, micro-GC pour les COV)
Présentation / visualisation des résultats	Graphique (étalonnage réponse bois / autres matrices du site) & carte 2D La nature du sol et le type de polluants sont à prendre en compte dans l'interprétation
Niveau d'expérience requis	Moyen
Nature du résultat de la mesure	Semi-quantitatif : (les concentrations sont exprimées par rapport à la matrice bois, et il convient de pouvoir comparer avec des données sol, nappe ou gaz du sol à proximité sur quelques points pour un « étalonnage »). La technique alternative résulte à une concentration qui doit être calibré, convertis ou être en corrélation avec les techniques d'analyses de sol classiques
Précision / Limite de détection / Unité de mesure	Dans les meilleurs cas, des concentrations en COV peuvent être détectées dans les arbres lorsque la concentration dans la nappe est de COV # 5 à 50 µg/L ; Dans les meilleurs cas, des concentrations en métaux lourds peuvent être détectées dans les arbres lorsque la concentration dans le sol de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn est de 20 à 200 mg/kg ; Dans les meilleurs cas, des concentrations en Mercure peuvent être détectées dans les arbres lorsque la concentration dans le sol de Mercure est de 2 à 5 mg/kg
Prix d'utilisation	Matériel de prélèvement spécifique : 500 € Analyse : 75 à 125 € / échantillon HTVA (COV ou métaux, selon quantités et molécules) Mobilisation de personnel de terrain pour le prélèvement

EXIGENCES TECHNIQUES

A. Procédure avant utilisation sur site

1. Repérage des essences d'arbre adaptées à la méthode, du maillage d'investigation en fonction des polluants recherchés, de la lithologie / prof. de nappe et des contraintes d'accès
2. Définition des doublets « arbre / autre matrice » (sol, nappe et/ou gaz du sol) pour « calibration » des résultats
3. Définition du nombre et de la position des « blanc de terrain » et des « doublons » (5 à 10% des échantillons totaux)

B. Description de l'opération sur le terrain

Description précise et structurée de l'opération à réaliser :

1. Noter la position et les informations de description de l'arbre (essence, taille, état général, photographie ...)
2. Repérage de la zone du tronc à échantillonner et retrait de l'écorce (non prélevée excepté dans certains cas où l'écorce sera analysée, pour une pollution au Mercure notamment)
3. Prélèvement d'un échantillon de bois :
 - a. Pour les COV et le Mercure, 2 à 3 carottes de 1 cm de long à l'aide du marteau sondeur
 - b. Pour les métaux et TPH-HAP, 2 à 3 carottes de 2 cm de long à l'aide d'une tarière manuelle
4. Stockage des échantillons dans un flacon dédié. Les flacons sont maintenus à une température de l'ordre de 12°C du site à la réception laboratoire,
5. Prélèvement des « doublons » si besoin,

6. Prélèvement des « blancs de terrain » : consistent à des prélèvements d'air ambiant à l'aide de flacons afin de soustraire aux concentrations mesurées dans les arbres, les concentrations mesurées dans l'air ambiant. Cette opération est réalisée afin de ne garder comme résultat que les concentrations venant du sol, de la nappe ou de la phase gazeuse du sol.

Les trous laissés dans le tronc peuvent être rebouchés à l'aide d'une résine naturelle.

C. Procédure après l'acquisition des résultats

1. Validation des résultats (Procédure de validation/recommandations pour la validation)
 - a. Comparaison des analyses « arbres » par rapport aux doublons et blanc d'ambiance,
 - b. Analyse statistique des résultats « arbre » pour identifier des possibles écarts en fonction des essences retenues, des dates et conditions de prélèvement, des zones du site, voire des différences entre les tissus prélevés (pour la recherche d'origine),
 - c. Comparaison point à point et par le biais des statistiques des données « arbres » et « autres matrices » pour amorcer une « calibration » in situ.
2. Interprétation des résultats par le biais de cartographies des analyses « arbres » (nuage de point ou interpolation 2D) en lien avec les zones du site (activités, lithologie, nappe ...)

MESURES DE SÉCURITÉ SPÉCIFIQUE À LA TECHNIQUE

Afin de garantir la sécurité des travailleurs sur le terrain, un équipement de protection individuelle standard est requis lors de l'utilisation de la technique alternative d'investigation du sol.

INFORMATIONS POUR L'UTILISATEUR

A. Fournisseurs de services ou de la technique alternative d'investigation du sol (utilisation, mesures et analyses)

- Belgium
 - Tauw offre la prestation de prélèvement, analyse (sous-traitée auprès de partenaires) et interprétation
 - Bio2Clean
- Europe
 - Tauw offre la prestation de prélèvement, analyse (sous-traitée auprès de partenaires) et interprétation
 - Environnement International, France
 - BG Ingénieurs Conseils, Suisse
 - HPC AG, Allemagne
- Worldwide
 - Exponent, USA
 - Triassic Technology, USA
 - Pioneer Environmental Services, LLC. Chicago, IL USA

B. Sources bibliographiques

- Vroblesky, D.A., 2008, User's guide to the collection and analysis of tree cores to assess the distribution of subsurface volatile organic compounds: U.S. Geological Survey, Scientific Investigations Report 2008-5088, 59 p.

- Balouet J.C., Chalot M., 2015, POLLUTION INVESTIGATION BY TREES (PIT), Methodological guide, ADEME, final report, contrat n°1072C0020, 72 p.
- Angela A. Peverly, Amina Salamova, and Ronald A. Hites. Locating POPs Sources with Tree Bark. *Environ. Sci. Technol.* 2015, 49, 13743–13748,
- Matt A. Limmer, Danielle M. West, Ruipu Mu, Honglan Shi, Kim Whitlock and Joel G. Burkena. Phytoscreening for Perchlorate: Rapid Analysis of Tree Sap. *Environ. Sci.: Water Res. Technol.*,2015, 1,138
- Kaskassian S., Yung L., Ecouellan M., Chalot M.. Phytoscreening as a tool to delineate Cl-VOCs plumes and prioritize pollution management efforts for large scale and multisource sites (2017)
- Vojtěch Antoš, Pavel Hrabák, Jiřina Macháčková, Irena Šupíková, Libor Polách, Miroslav Černík, Petr Kvapil. ACCUMULATION OF HEXACHLOROCYCLOHEXANES IN ALNUS GLUTINOSA BIOMASS